

氏名・(本籍)	ふじ さわ ひで き 藤 澤 英 樹
学位の種類	博 士(理 学)
学位記番号	理博第1828号
学位授与年月日	平成13年3月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)物理学専攻
学位論文題目	角度分解光電子分光による低次元化合物のスピン-電荷分離とCDW転移の研究
論文審査委員	(主査) 教授 豊田直樹 教授 倉本義夫 助教授 高橋隆, 遠山貴巳, 寺内正己

論 文 目 次

第1章 序論	
1.1節 緒言	
1.2節 擬1次元金属の光電子分光	
1.3節 CDW化合物の角度分解光電子分光	
1.4節 本研究の目的	
第2章 光電子分光法と角度分解光電子分光装置	
2.1節 光電子分光	
2.1.1 光電子分光の原理	
2.1.2 角度分解光電子分光の原理	
2.2節 角度分解光電子分光装置とその建設	
第3章 擬1次元銅酸化物におけるスピンと電荷の分離	
3.1節 研究目的と背景	
3.2節 SrCuO_2 の角度分解光電子分光	
3.2.1 実験	
3.2.2 実験結果と考察	
3.2.3 まとめ	
3.3節 Sr_2CuO_3 の角度分解光電子分光	
3.2.1 実験	
3.2.2 実験結果と考察	
3.2.3 まとめ	
第4章 CDW化合物の角度分解光電子分光	
4.1節 擬1次元金属化合物 Nb_5Te_4 の角度分解光電子分光	
4.1.1 研究背景と目的	

- 4.1.2 実験
- 4.1.3 実験結果と考察
- 4.1.4 まとめ
- 4.2節 η - Mo_4O_{11} の角度分解光電子分光
 - 4.2.1 研究背景と目的
 - 4.2.2 実験
 - 4.2.3 実験結果と考察
 - 4.2.4 まとめ
- 4.3節 2H-NbSe_2 の角度分解光電子分光
 - 4.3.1 研究背景と目的
 - 4.3.2 実験
 - 4.3.3 実験結果と考察
 - 4.3.4 まとめ
- 4.4節 1T-TiSe_2 の角度分解光電子分光
 - 4.4.1 研究背景と目的
 - 4.4.2 実験
 - 4.4.3 実験結果と考察
 - 4.4.4 まとめ

第5章 全体のまとめ

発表論文リスト

学会発表リスト

謝辞

博士論文要旨

相互作用する1次元金属においては、3次元金属における準粒子にかわり、スピンと電荷の自由度が分離し、「スピノン」、「ホロン」といった独立した素励起として振舞う(朝永-ラッティンジャー液体)ことが理論的に厳密に示されてきた。さらに1次元金属は、フェルミ面のネステイング (Nesting) 条件が良いために、格子ひずみを伴った電荷密度波 (CDW) が発現する。フェルミ面のNesting条件がよければ、異方性の強い2次元、3次元物質においても同様な機構でCDW転移を示すことが予想される。本研究においては、低次元電子系に特異な現象である「スピンと電荷の分離」、およびCDW転移を、次元性の異なる物質の角度分解光電子分光を行うことによって研究した。

(1) 擬1次元Cu-O鎖化合物 SrCuO_2 , Sr_2CuO_3

励起光量、試料形状等の測定条件を精密に検討することによって、絶縁体における帯電効果を抑えて、スペクトルを得ることに成功した。1本Cu-O鎖から成る Sr_2CuO_3 のフェルミ準位(EF)近傍のバンド分散においては、ブリルアンゾーンの $k/\pi = 0 \sim 0.5$ で2つの構造が存在するのが分かる。大きく分散する構造は $k/\pi = 0.5$ で対称的であるが、比較的フラットな構造は $k/\pi = 0.5 \sim 1.0$ で消滅している。これらの特徴は1次元 t - J モデルと一致することから「スピンと電荷の分離」の結果生成された「スピノン」、「ホロン」バンドに帰属した。

(2) 擬1次元CDW化合物Nb₃Te₄

Nb₃Te₄ (T_{CDW}=110K)のNb鎖方向に沿って測定されたARPESスペクトルにおいては、分散的なNb 4dバンドが鎖方向でE_Fを切っており、2k_F=(5.2/7)ΓAが、CDW wave vector (QCDW)=(6/7)ΓAとほぼ一致する事から、Nb鎖でCDWが起きていることを示している。Nb 4dバンドのスペクトル強度はフェルミ準位から離れた他のバンドに比べ、フェルミ準位近傍で抑制されていることを見出した。この特徴は朝永-ラッティンジャー液体の観点から説明できると考えられる。一方、k_Fにおいては明確なフェルミ端を示し、2次元または3次元性である証拠として捉えられる。これらの実験結果は、Nb₃Te₄が有限の鎖間相互作用によって、2次元または3次元性が共存した擬1次元金属であること示している。

(3) 擬2次元CDW化合物η-Mo₄O₁₁

η-Mo₄O₁₁はT_{CDW1}=109K, T_{CDW2}=35KでCDW転移を示す。結晶構造中にMoO₆八面体が1次元的な鎖が存在することから、1次元と2次元が混在するような電子状態が実現している事が示唆されてきた。実験からフェルミ面を決定し、nesting vectorを見積もったところ、q₁は0.24±0.03b'であり、これはT_{CDW1}でのQ_{CDW1}=(0, 0.23b', 0)と良く一致する。また、Γ点を中心としたホール面のb'軸方向の大きさq₂は0.44±0.01b'と見積もることができ、T_{CDW2}でのQ_{CDW2}=(?, 0.42b', 0.28c')のb'成分と良く合う。この事はη-Mo₄O₁₁のCDW転移が「隠れた1次元的なフェルミ面」(hidden 1D Fermi surfaces nesting)によって引き起こされている事を示している。

(4) 擬2次元CDW化合物2H-NbSe₂

2H-NbSe₂のCDW起源は2説考えられてきた。1つは1次元と同様なNestingによって生じるモデルと、もう一方はE_F近傍のsaddle pointの存在によって生じるモデルである。フェルミ面のマッピングを行った結果、Q_{CDW} (0.688 Å⁻¹)がsaddle point間の大きさ(Q_{SP}≐1.04 Å⁻¹)よりもΓ点を中心としたフェルミ面の大きさ(Q_{F3}≐0.66 Å⁻¹)にほぼ一致する事から、CDWが1次元と同様にフェルミ面のネスティング効果によって発現する事を見出した。

(5) 3次元CDW化合物1T-TiSe₂

3次元化合物1T-TiSe₂の起源を調べるために、転移温度(約200K)の上下で角度分解光電子分光を行った。高結合エネルギー側においては、2a₀x2a₀x2c₀の超格子構造出現に伴う電子状態の再配列は観測されなかったが、E_F近傍では両者に大きな変化が観測された。Normal相において、Γ点のSe4pバンド、M(L)点のTi3dバンドに有限ギャップが生じている。CDW相においては、Normal相のM(L)点に対応するΓ_b(A_b)点にΓ(A)点からの折り返しバンドを観測した。CDWに伴う電子状態の再配列が、E_F近傍のホールのバンドと電子的なバンドでのみ起きている事から、転移機構は電子とホールが結合しエキシトンを形成することによって生じるexcitonic insulator modelによって説明できる事を見出した。

論文審査の結果の要旨

相互作用する1次元金属においては、3次元金属における準粒子に代わり、スピンと電荷の自由度が分離し、「スピノン」、「ホロン」といった独立した素励起として振舞う(朝永-ラッティンジャー液体)ことが理論的に厳密に示されてきた。さらに1次元金属は、フェルミ面のネスティング(Nesting)条件が良いために、格子ひずみを伴った電荷密度波(CDW)が発現する。フェルミ面のNesting条件がよければ、異方性の強い2次元、3次元物質においても同様な機構でCDW転移を示すことが予想される。本研究においては、低次元電子系に特異な現象である「スピンと電荷の分離」、およびCDW転移を、次元性の異なる物質の角度分解光電子分光を行うことによって研究した。

擬1次元Cu-O鎖化合物 SrCuO_2 , Sr_2CuO_3 については、励起光量、試料形状等の測定条件を精密に検討することによって、絶縁体における帯電効果を抑えて、スペクトルを得ることに成功した。1本Cu-O鎖から成る Sr_2CuO_3 のフェルミ準位(EF)近傍のバンド分散の特徴は1次元 t - J モデルと一致することから「スピンと電荷の分離」の結果生成された「スピノン」、「ホロン」バンドに帰属した。擬1次元CDW化合物 Nb_3Te_4 ($T_{\text{CDW}}=110\text{K}$)のNb鎖方向のARPESスペクトルにおいてはNb鎖でCDWが起きていることを示し、Nb $4d$ バンドのスペクトル強度はフェルミ準位から離れた他のバンドに比べ、フェルミ準位近傍で抑制されていることを見出した。擬2次元CDW化合物 $\eta\text{-Mo}_4\text{O}_{11}$ については、そのCDW転移が「隠れた1次元的なフェルミ面」(hidden 1D Fermi surfaces nesting)によって引き起こされている可能性を指摘した。擬2次元CDW化合物 2H-NbSe_2 のCDWに関して、1次元と同様にフェルミ面のネスティング効果によって発現する事を見出した。また、3次元CDW化合物 1T-TiSe_2 に関しては、超格子構造出現に伴う電子状態の再配列は観測されなかったが、その転移機構は電子とホールが結合しエキシトンを形成することによって生じるexcitonic insulator modelによって説明できる事を見出した。

以上の研究成果は、自立して研究活動を行うには必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、藤澤英樹提出の論文は、博士(理学)の学位論文として合格と認める。